



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Joel Aruoja**

**ÜKSIKPUU DIAMEETRI JUURDEKASVU HINDAMINE  
KAHE ERINEVA MEETODIGA  
EVALUATING THE RADIAL GROWTH OF SINGLE TREES  
WITH TWO DIFFERENT METHODS**

Bakalaureusetöö  
Metsanduse õppekava

Juhendaja: kaasprofessor Diana Laarmann, *PhD*  
dotsent Maris Hordo, *PhD*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Joel Aruoja		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Üksikpuu diameetri juurdekasvu hindamine kahe erineva meetodiga			
Lehekülgi: 28	Jooniseid: 12	Tabeleid: 1	Lisasid: 0
Õppetool: metsakorralduse ja metsatööstuse õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: B430 Juhendaja(d): Diana Laarmann, Maris Hordo Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
<p>Eesti on metsarikas maa ning metsade majandamisel on üheks suureks väljakutseks usaldusväärsete andmete hankimine. Metsanduses on pidevalt vaja uusi andmeid, et mõista puude ja puistu kasvu dünaamikat. Juurdekasvu andmete põhjal arvutatakse näiteks raiemahud, raievanused või otsustatakse metsa mittemajandamine. Töö eesmärk on uurida hariliku männi (<i>Pinus sylvestris</i>) diameetri juurdekasvu andmeid kahe erineva meetodiga – koorepealse ning koorealuse meetodiga. Töö käigus koguti 60 puursüdamikku viielt erinevalt proovitükilt. Puursüdamikud koguti rinnaskõrguselt ehk 1,3 m kõrguselt. Laboris loeti aastarõngad kokku ning mõõdeti iga aastarõnga pikkus ja järgmiseks viidi andmed sobivasse formaati, et neid edaspidi oleks lihtsam töödelda. Andmeanalüüsi käigus arvutati mõlema meetodi puhul juurdekasv ning prognoositav koore juurdekasv ja võrreldi neid omavahel. Tulemuseks leiti, et kahe meetodi puhul juurdekasvu erinevus oli keskmiselt 16-23 mm. Arvutati ka teoreetilise koore paksus ning seda võrreldi Simsi (2015) mudeliga ning statistiliselt oluliselt erinevust ei tuvastatud. Kahe meetodi abil saadud tulemuste erinevust võib seletada mitut moodi. Tihtipeale võib olla vea tekitajaks inimene ise, kas puu diameeter on mõõdetud erinevalt kõrguselt, kas puursüdamiku lugeja on teinud vea, või võib seletada erinevust sellega, et mõõtmisvahendite täpsused on erinevad. Paremate seoste loomiseks ja tulemuste saamiseks tuleks teemat põhjalikumalt uurida ning suurendada uurimuses olevate puude arvu.</p>			
Märksõnad: aastarõngad, puursüdamik, juurdekasv, proovitükk			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Joel Aruoja		Speciality: Forestry	
Title: Evaluating the radial growth of single trees with two different methods			
Pages: 28	Figures: 12	Tables: 1	Appendixes: 0
Chair: chair of forest management and wood processing technologies Field of research and (CERC S) code: Forest Science, B430 Supervisors: Diana Laarmann, Maris Hordo Place and date: Tartu 2021			
<p>Over half of Estonia is covered in forests and needs to be properly managed. One of the key challenges in sustainable forest management is collecting reliable data. In forestry, new data is constantly needed to understand the dynamic of tree and stand growth. Harvesting volumes and felling cycles are determined on the basis of the radial growth data. The aim of this Bachelor's thesis was to study and compare the radial growth of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i>) with two different methods – reading growth with a microscope and the data collected from sample plots. During this research 60 samples were collected from five different sample plots and these samples were further studied. The samples were then examined under a microscope and all the tree-ring info was studied. During data analysis radial growth was measured with both methods and then compared with each other. Results showed that the difference between two methods was 16-23 mm. The thickness of the bark was also calculated and it was compared with the Sims (2015) bark model and no statistically significant differences were found. The difference between the results obtained by the two methods can be explained in several ways. Often the error can be caused by the measurer himself, whether the diameter of the tree is measured at different heights, whether the reader of the sample has made an error, or the difference can be explained by the differences of accuracy of the measuring instruments. In order to make better connections and get better results, the topic should be studied further and the number of trees in the study should be increased.</p>			
Keywords: tree sample, tree-ring, radial growth, sample plot			

# SISUKORD

SISUKORD.....	4
SISSEJUHATUS .....	5
1. MATERJAL JA METOODIKA .....	7
1.1. Katseala.....	7
1.2. Välitööd.....	9
1.3. Labortööd .....	9
1.4. Andmete analüüs.....	9
2. TULEMUSED .....	11
3. ARUTELU .....	23
4. KOKKUVÕTE .....	25
KASUTATUD KIRJANDUS .....	26

## SISSEJUHATUS

Metsade majandamine on Eestis tähtsal kohal, kuna metsad katavad riigi pindalast rohkem kui pool. Sellega seoses on väga oluline, et need andmed, mille põhjal metsi majandatakse või otsustatakse metsade mittemajandamine, oleksid täpsed ning korrektsed. Üks peamiseid väljakutseid metsade majandamise eeltingimuseks on usaldusväärsete andmete kogumine puude juurdekasvu kohta, mis on üheks sisendiks puistu kasvu prognoosimisel, raieahtude kui ka raievanuste määramisel (Rosa *et al.* 2015).

Peamiselt mõõdetakse puudel rinnasdiameetrit 1,3m kõrguselt ning kahe erineva meetodiga: 1) klappimine – puu rinnasdiameetri mõõtmine spetsiaalse tööriistaga ehk klupiga; 2) puu rinnasdiameetri mõõtmine spetsiaalse diameetrilindiga ehk talmeetriga (Metsa hindamise metoodiline juhend, 2010).

Eestit katvat süstemaatilist kasvukäigu võrgustiku (edaspidi KKPRT) rajamist alustati 1999. a Riigimetsa Majandamise Keskuse toetusel (Kiviste *et al.* 2015). Püsiproovitükkide rajamine on meetod puistu kasvukäigu uurimiseks, mis on laialdaselt Eestis kasutust leidnud. (Kiviste *et al.* 2015) Seda tüüpi püsiproovitükkidel märgitakse ka lisaks puude andmetele nende koordinaadid, et järgnevatel aastatel oleks mõõtmine lihtsam ning tänu nendele andmetele saab luua puistute kasvumudeleid (Kiviste *et al.* 2015).

Kasvukeskkonna- ja kliimamuutused mõjutavad puude juurdekasvu ja metsade kasvu üldiselt (Trouillier *et al.* 2020). Üheks heaks võimaluseks, et jälgida üksikpuu juurdekasvu, on aastarõngaste mõõtmine. Sellist meetodit kasutades saame jälgida metsade kasvu dünaamikat aastate kuni aastatuhandete jooksul (Nehrbass-Ahles *et al.* 2014).

Kordusmõõtmiste intervallid püsiproovitükkidel peavad olema pikad, kuna näiteks klupi või talmeetriga mõõtmisel ei suuda iga-aastast juurdekasvu eristada (Metsaranta & Lieffers, 2009). Detailsed, üksikasjalikud mõõtmisandmed muutuvad tulevikus aina olulisemaks, kuna kliimamuutused mõjutavad nii metsa kasvu kui ka puistu kasvu dünaamikat (Ibid).

Antud töös kasutati dendrokronoloogilist meetodit (juurdekasvu hindamist mikroskoobiga), et hinnata puidu juurdekasvu ning võrrelda kahte erinevat diameetri juurdekasvu hindamise meetodit. Dendrokronoloogia on aastarõngaste dateerimise teadus, millega saab uurida ja analüüsida puittaimede aastarõngastest sisalduvat informatsiooni (Hordo, 2012).

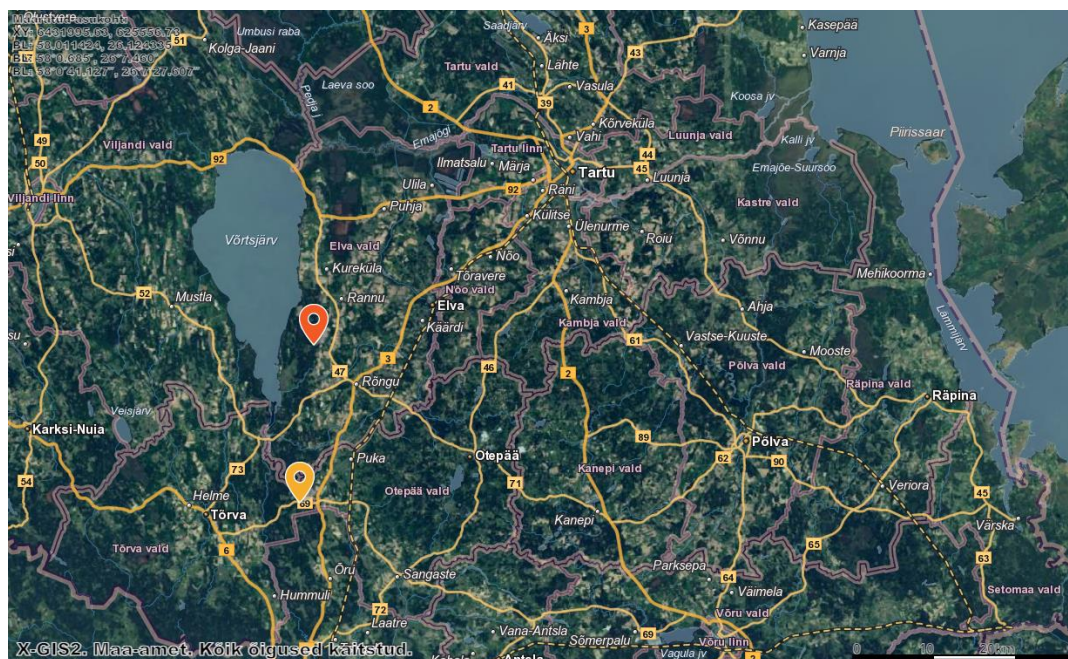
Käesoleva töö eesmärk on uurida, kuidas erinevad puude diameetri juurdekasvu andmed, mõõtes puid koorepealse- ning koorealuse meetodiga. Koorepealse mõõtmise andmed olid juba kogutud aastakümnete jooksul Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku kordusmõõtmiste raames ning koorealused andmed ehk puurproovid kogus autor ise.

# 1. MATERJAL JA METOODIKA

## 1.1. Katseala

Eesti Maaülikooli metsakorralduse ja metsatööstuse õppetooli metsa kasvukäigu uurimise ja modelleerimise töörühm on rajanud Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku, kus käiakse puid iga aasta mõõtnas või kordusmõõtnas (Kiviste *et al.* 2015). Käesoleva uurimistöö teostamiseks valiti võrgustikust viis erinevat püsiproovitükki, kus olid juba mõõtmisandmed (vähemalt viis korda mõõdetud) olemas ning sealt valiti omakorda 60 puud (ka vähemalt viis korda mõõdetud), mis võeti edasise uurimise alla.

Proovitükid nr 351 ja nr 352 asuvad Tartu maakonnas, Elva vallas, Piigandi külas ning seal olev mets kuulub riigile. Mõlemalt proovitükilt valiti kameraalsel teel juhusliku valimi abil 15 puud, mida hakati edasi analüüsima. Mõlema proovitüki kasvukohatüüp on pohla, kuuluvad II boniteeti ning proovitükkide peapuuliik on harilik mänd (*Pinus sylvestris*). Proovitükkide takseerandmed on välja toodud tabelis 1. Joonisel 1 on näidatud proovitükkide asukohad.



**Joonis 1.** Proovitükkide asukohad. Oranžiga on märgitud proovitükkide 351 ning 352 asukohad, kollasega on märgitud proovitükkide 380, 381 ning 382 asukohad. Allikas: Maa-ameti geoportaal (02.05.2021).

Proovitükid nr 380, nr 381 ning nr 382 asuvad Valga maakonnas, Tõrva vallas, Soontaga külas ning seal olev mets kuulub riigile. Igalt proovitükilt valiti kameraalsel teel juhusliku valimi abil 10 puud, mida hakati edasi analüüsima. Proovitükkide kasvukohatüübiks on pohla, kuuluvad II boniteeti ning peapuuliigiks on samuti harilik mänd. Proovitükkide takseerandmed on välja toodud tabelis 1. Joonisel 1 on näidatud proovitükkide asukohad.

**Tabel 1.** Proovitükkide takseerandmed. Lühendid: PRT – proovitükk, A – vanus, H – kõrgus, D – diameeter, G – I. rinde rinnaspindala, M – I. rinde tagavara, N – I. rinde puude arv

PRT	AASTA	A	H (m)	D (cm)	G (m <sup>2</sup> /ha)	M (m <sup>3</sup> /ha)	N (tk/ha)
351	1995	74	26,7	26,8	32,2	389	570
	2000	79	27,5	28,2	34,7	430	556
	2005	84	29,1	28,4	36,6	475	576
	2010	89	30,2	29,2	39,2	525	586
	2015	94	31,9	30,5	42,8	599	586
	2020	99	32,7	31,0	43,2	619	570
352	1995	74	24,1	25,0	26,9	298	547
	2000	79	25,3	26,6	29,2	337	525
	2005	84	26,7	27,2	31,0	376	535
	2010	89	28,3	27,9	31,8	404	520
	2015	94	30,0	29,4	33,4	445	494
	2020	99	30,4	30,1	34,1	459	479
380	1995	48	19,2	19,2	25,5	239	884
	2000	53	21,3	21,6	21,0	212	575
	2005	58	22,5	22,8	23,3	247	575
	2010	63	24,8	24,0	25,7	294	570
	2015	68	26,1	25,6	29,0	347	565
	2020	73	27,2	25,9	30,0	371	571
381	1995	48	18,3	17,8	22,1	198	894
	2000	53	20,0	19,7	18,9	181	617
	2005	58	21,6	21,1	21,2	217	607
	2010	63	23,2	22,3	23,6	256	601
	2015	68	24,6	24,1	26,3	298	575
	2020	73	25,7	24,7	26,8	315	560
382	1995	55	19,5	18,3	27,1	255	1032
	2000	60	22,0	20,8	19,4	201	571
	2005	65	23,2	21,7	21,3	230	576
	2010	70	24,8	22,9	23,7	270	576
	2015	75	26,4	24,4	26,2	314	560
	2020	80	27,4	24,8	26,6	329	550



## 1.2. Välitööd

Uurimise aluseks olevad üksikpuud valiti välja kameraalsel teel juhusliku valimi alusel. Välitöödel tuvastati puud, mõõdeti rinnasdiameeter kahes suunas ja võeti puurproovid. Juurdekasvupuud kinnitati akutrelli külge ning puuriti puu keskest läbi, nii et proovi peale jääks ka säsi ehk puu keskosa. Kõik proovid võeti rinnaskõrguselt ehk 1,3 meetri kõrguselt maapinnast. Igalt puult võeti üks proov läbi puu (saadi 2 proovi ühelt puult), paigutati plastiktorusse, toru kinnitati klambriga ning märgistati. Peale välitööde lõpetamist viidi proovid Eesti Maaülikooli ning säilitati sealses külmkapis. Välitöödel osalesid töö autor ning juhendajad.

## 1.3. Labortööd

Kui proovid olid ära kuivanud, liimiti need puiduliimiga puuklotside külge, et neid oleks edaspidi lihtsam töödelda. Igale alusele kinnitati kahe puu proovid, märgiti juurde kuupäev, proovitüki number ning puu number. Peale liimi kuivamist lihviti proovid tasaseks kolme erineva jämedusega liivapaberiga, et lihtsustada hiljem aastarõngaste lugemist mikroskoobiga. Edasised mõõtmised tehti mikroskoobiga Eesti Maaülikooli dendrokronoloogia laboris, kus kasutati *Lintab<sup>TM</sup>* mõõtelauda ja *TSAP-Win<sup>TM</sup>* programmi, mille mõõtmistäpsus on 1/100 mm. Mõõdeti ära aastarõnga laius ehk sügis- ja kevadpuidu osakaal. Puursüdamikku mõõdeti kaks korda – ühe korra puu välisküljest säsini ning teiselt poolt sama moodi. Kontrolliti, kas algusaastad ning aastarõngad klappivad, kui ei klappinud, mõõdeti proov uuesti. *Lintab<sup>TM</sup>* on mõõtmislaud, millega saab hinnata puude juurdekasvu ning *TSAP-Win<sup>TM</sup>* on selle mõõtmislauaga kaasnev tarkvara (Rinntech).

## 1.4. Andmete analüüs

Peale proovide mõõtmist viidi läbi statistiline ristdateerimine. Ristdateerimiseks nimetatakse protseduuri, kus omavahel pannakse kõrvuti aastarõngaste read, mille tulemusel saab täpselt ära määrata kasvuringide moodustumise kalendriaastad (Hordo, 2012). Statistiline

ristdateerimine viidi läbi programmiga COFECHA, mis hindab mõõtmistulemuste täpsust ning aitab eemaldada mõõtmisvigu (Grissino-Mayer, 2000).

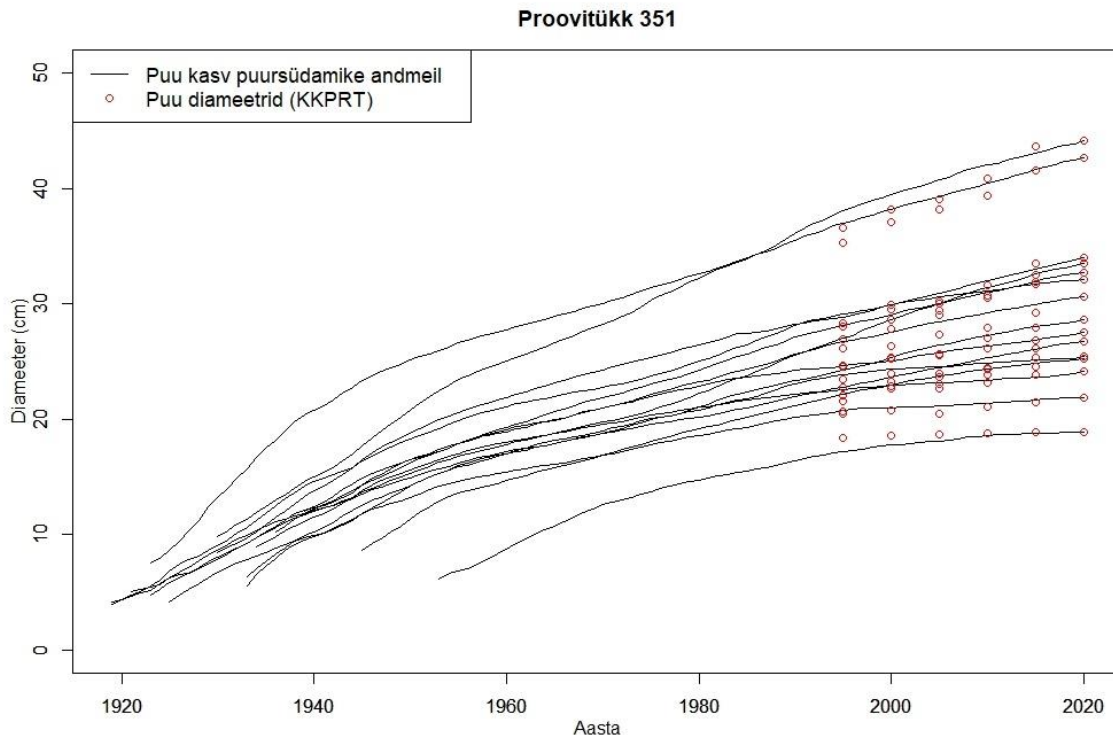
Peale ristdateerimist viidi andmed *Microsoft Excel* keskkonda, kus grupeeriti need kahte gruppi: puude klappimisandmed, mida on kogutud aastast 1995, ning puursüdamikelt kogutud andmed. Puursüdamike pealt mõõdetud pooled liideti (välisküljest säsini) ning saadi ühe aastane diameetri juurdekasv. Viimasest püsiproovitükkide mõõtmisaastast (2020) arvutati maha iga-aastane juurdekasv puursüdamikelt, et võrrelda kahte erinevat meetodit. Saadud tulemuste põhjal tehti tulemuste iseloomustamiseks võrdlevaid joonised vabavaraprogrammiga R (R Development Core Team, 2021) ning viidi läbi Studenti t-test (*Two-Sample Assuming Equal Variances*). Studenti t-testis võrreldi kahe meetodi viie aastast juurdekasvu ning esitati hüpotees, kas kahe meetodi poolt mõõdetud andmed on statistiliselt erinevad. Studenti t-testi puhul oli olulisuse nivooks 0,05 ehk meetodid loetakse statistiliselt erinevaks, kui  $p \leq 0,05$ .

Andmeanalüüsi käigus arvutati ka välja teoreetiline koore paksus ning koore juurdekasv, kus puu klupitud diameetrist lahutati puurproovi pikkus. Tehti regressioonianalüüs koore paksuse (funktsioontunnus) ja klupitud diameetri (argumenttunnus) vahel ning võrreldi Simsi (2015) koorepaksuse mudeliga.

## 2. TULEMUSED

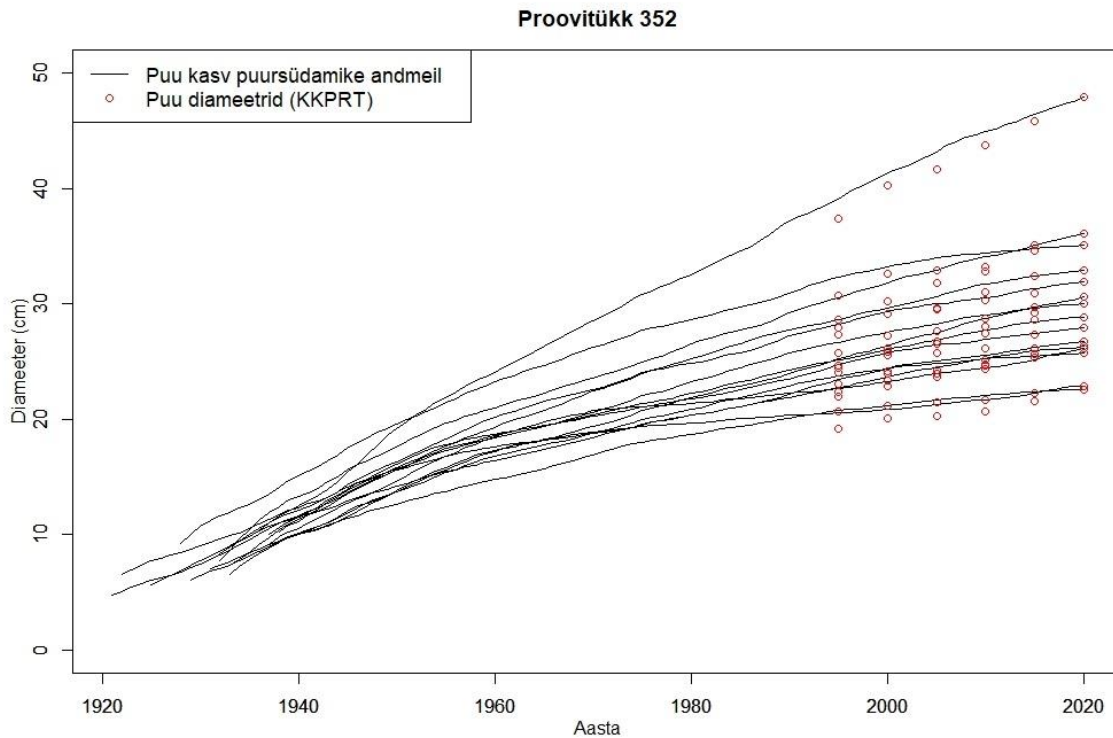
Töös uuriti kokku 60 puud viielt erinevalt proovitükilt, uuritavad mõõdetud puud olid kõik männid ja asusid pohla kasvukohatüübis. Igale puule arvutati keskmine diameeter ning võrreldi neid puursüdamikelt mõõdetud andmetega. Proovitükkidest suurima tagavaraga ( $619 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) on proovitükk 351 ning väikseima tagavaraga ( $315 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) on proovitükk 381. Kõikide proovitükkide diameetrid jäävad vahemikku 17,8 kuni 43,2 cm ning keskmised kõrgused vahemikku 18,3 kuni 32,7 m.

Proovitükilt 351 koguti puursüdamikud 15 puult ning saadud andmeid võrreldi püsiproovitükkidelt kogutud klupitud andmetega. Kõige suurema puu diameeter oli 44,1 cm (puu nr 85) ning kõige väiksema diameeter 18,9 cm (puu nr 56). Enamikel puudel osutus puursüdamike andmeil diameeter suuremaks, kui võrrelda neid klupitud andmetega. Kahel puul osutus puursüdamikel andmete põhjal mõõdetud diameeter väiksemaks kui klupitud andmete põhjal mõõdetud diameetriga, ülejäänud puudel oli klupitud andmete põhjal diameeter suurem. Mida väiksemaks läks puu diameeter, seda väiksem oli ka kahe meetodi erinevus (Joonis 2). Ka t-testi tulemusena selgus, et kahe meetodi erinevus proovitükil 351 on statistiliselt oluline ( $p < 0,05$ ). Suurim erinevus kahe meetodi vahel viie aastase juurdekasvu puhul on 1,76 cm ning väikseim 0,01 cm.



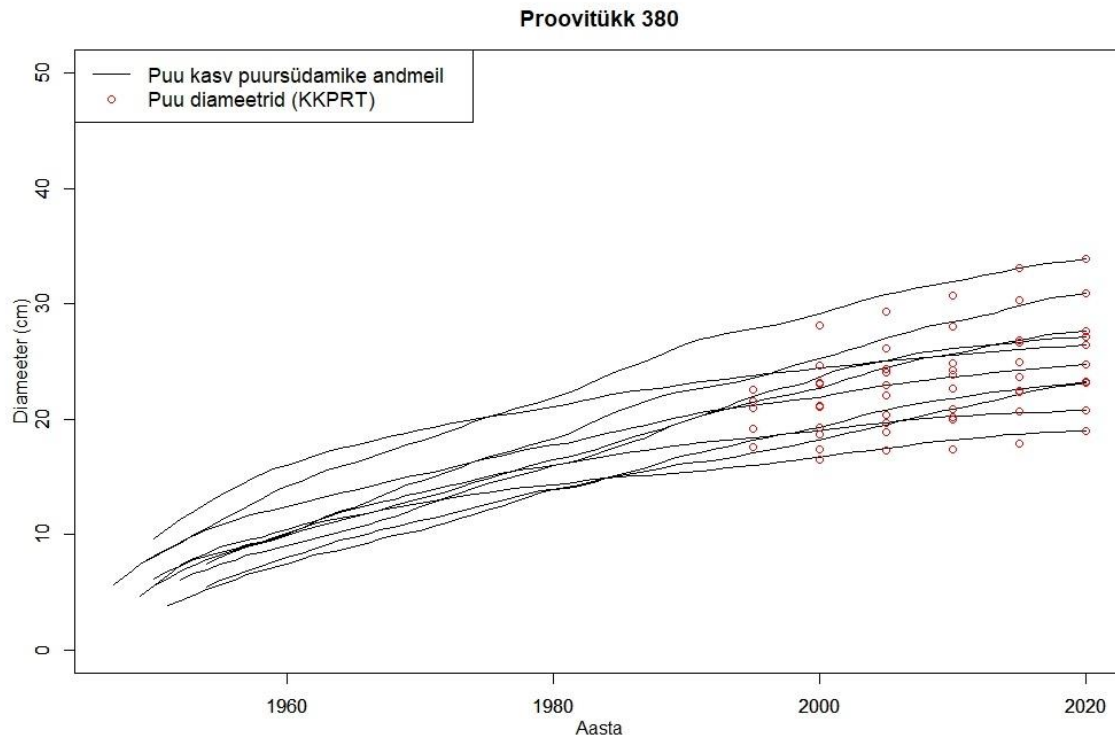
**Joonis 2.** Proovitüki 351 diameetri juurdekasvu graafik.

Proovitükilt 352 koguti puursüdamikud 15 puult ning võrreldi neid KKPRT klupitud andmetega. Kõige suurema puu diameeter oli 47,9 cm (puu nr 105) ning kõige väiksema puu diameeter 22,6 cm (puu nr 1). Peaaegu kõikidel puudel osutusid puursüdamike andmeil arvutatud diameetrid suuremaks, kui võrrelda neid klupitud andmetega, välja arvatud ühel puul. Mida väiksemaks läks puu diameeter, seda väiksem oli ka kahe meetodi erinevus (Joonis 3). Ka t-testi tulemusena selgus, et kahe meetodiga võrreldud viie aasta keskmised diameetri juurdekasvud proovitükil 352 on oluliselt erinevad ( $p < 0,05$ ). Suurim erinevus kahe meetodi vahel viie aastase juurdekasvu puhul on 1,20 cm ning väikseim 0,01 cm.



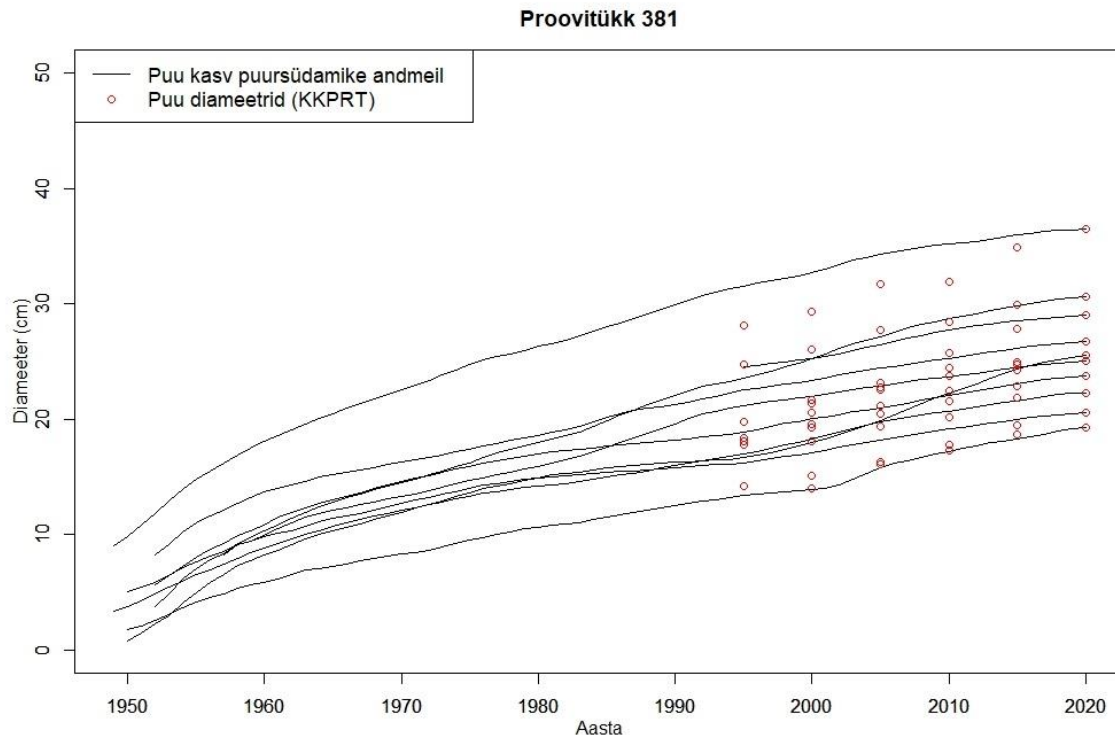
**Joonis 3.** Proovitüki 352 diameetri juurdekasvu graafik.

Proovitükilt 380 koguti puursüdamikud 10 puult ning neid võrreldi proovitükkidel klupitud andmetega. Kõige suurema puu diameeter oli 33,9 cm (puu nr 146) ning kõige väiksema puu diameeter 19 cm (puu 181). Kõikide puudel osutusid puursüdamike andmeil arvatud diameetrid suuremaks, kui neid võrrelda klupitud andmetega (Joonis 4). Ka t-testi tulemusena selgus, et kahe meetodiga võrreldud viie aasta keskmised diameetri juurdekasvud proovitükil 380 on statistiliselt oluliselt erinevad ( $p < 0,05$ ). Suurim erinevus kahe meetodi vahel viie aastase juurdekasvu puhul on 2,18 cm ning väikseim 0,13 cm.



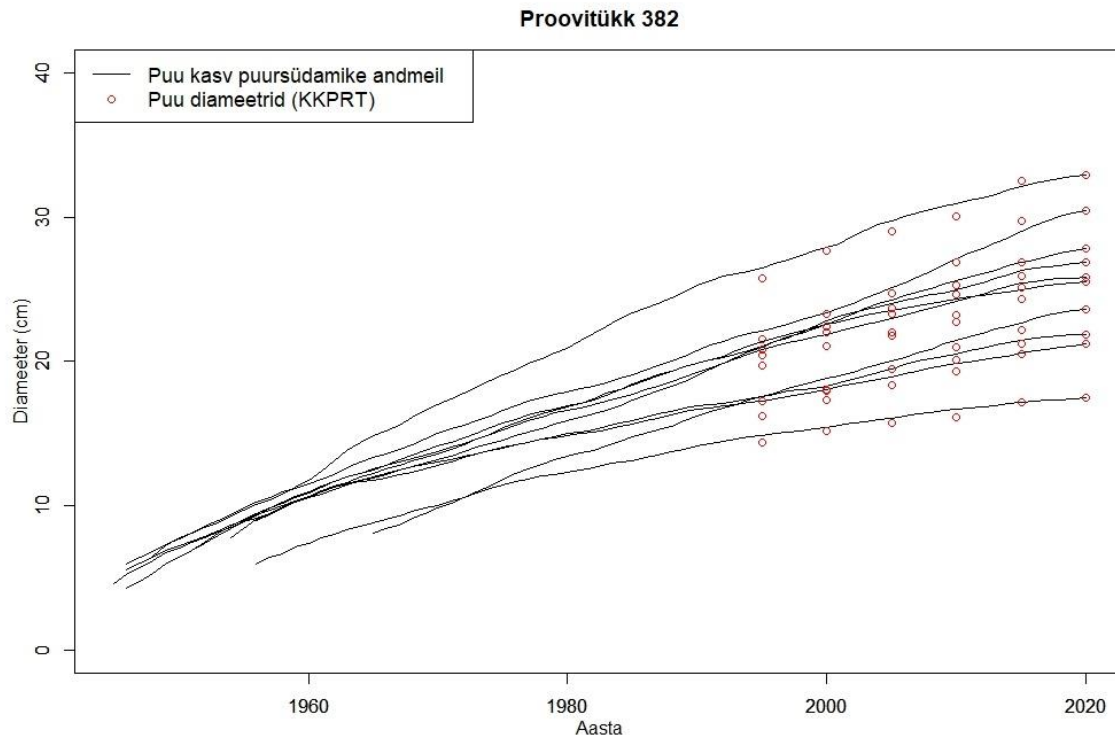
**Joonis 4.** Proovitüki 380 diameetri juurdekasvu graafik.

Proovitükilt 381 koguti puursüdamikud 10 puult ning neid võrreldi KKPRT klupitud andmetega. Kõige suurema puu diameeter oli 36,5 (puu nr 10) ning kõige väiksema puu diameeter 19,3 (puu nr 87). Seitsmel puul osutusid puursüdamike andmeil arvutatud diameetrid suuremaks, kui neid võrrelda püsiproovitükkidel mõõdetud diameetritega (Joonis 5), kolmel puul aga diameetrid väiksemaks. Ka t-testi tulemusena selgus, et kahe meetodiga võrreldud viie aasta keskmised diameetri juurdekasvud proovitükil 381 on statistiliselt oluliselt erinevad ( $p < 0,05$ ). Suurim erinevus kahe meetodi vahel viie aastase juurdekasvu puhul on 2,18 cm ning väikseim 0,13 cm.



**Joonis 5.** Proovitüki 381 diameetri juurdekasvu graafik.

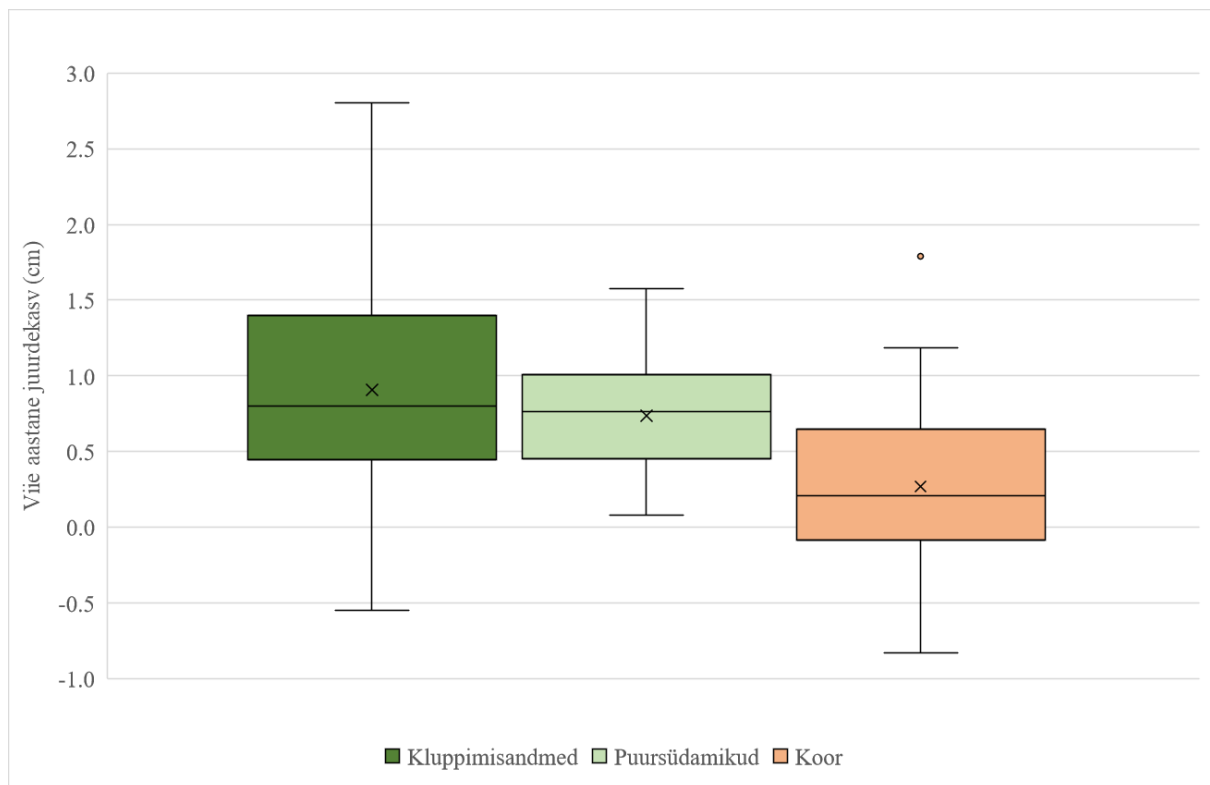
Proovitükil 382 koguti puursüdamikud 10 puult ning neid võrreldi klupitud andmetega. Kõige suurema puu diameeter oli 32,9 cm (puu nr 7) ning kõige väiksem diameeter 17,5 cm (puu nr 20). Peaaegu kõikidel puudel osutusid puursüdamike andmeil arvutatud diameetrid suuremaks, kui võrrelda neid klupitud diameetritega, välja arvatud ühel puul (Joonis 6). Ka t-testi tulemusena selgus, et kahe meetodiga võrreldud viie aasta keskmised diameetri juurdekasvud on proovitükil 382 statistiliselt oluliselt erinevad ( $p < 0,05$ ). Suurim erinevus kahe meetodi vahel viie aastase juurdekasvu puhul on 1,30 cm ning väikseim 0,05 cm.



**Joonis 6.** Proovitüki 382 diameetri juurdekasvu graafik.

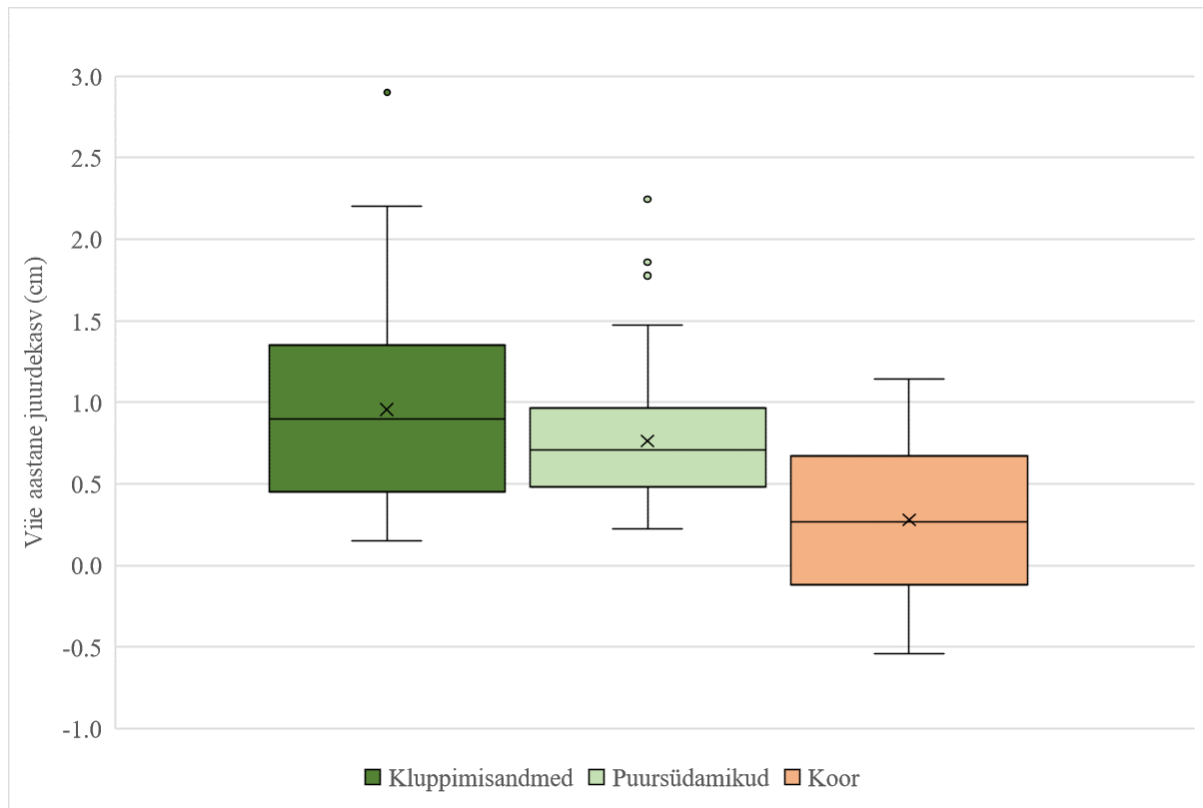
Joonisel 7 on välja toodud proovitüki 351 diameetri juurdekasvu võrdlus kahe erineva meetodiga ning lisaks ka prognoositud koore juurdekasv. Viie aastane keskmine diameetri juurdekasv on klappimisandmete põhjal 0,91 cm, puursüdamike põhjal 0,77 cm. Koore teoreetiline viie aastane juurdekasv on 0,21 cm. Esineb ka üks erind, mille väärtus on 1,79 cm. Klupitud andmete põhjal esines 20% puudel mingil ajavahemikul viie aastane negatiivne diameetri juurdekasv. Klupitud andmete põhjal oli maksimaalne diameetri juurdekasv 2,8 cm, puursüdamike andmete järgi 1,6 cm. 100% puudel esines mingil ajavahemikul negatiivset koore juurdekasvu.





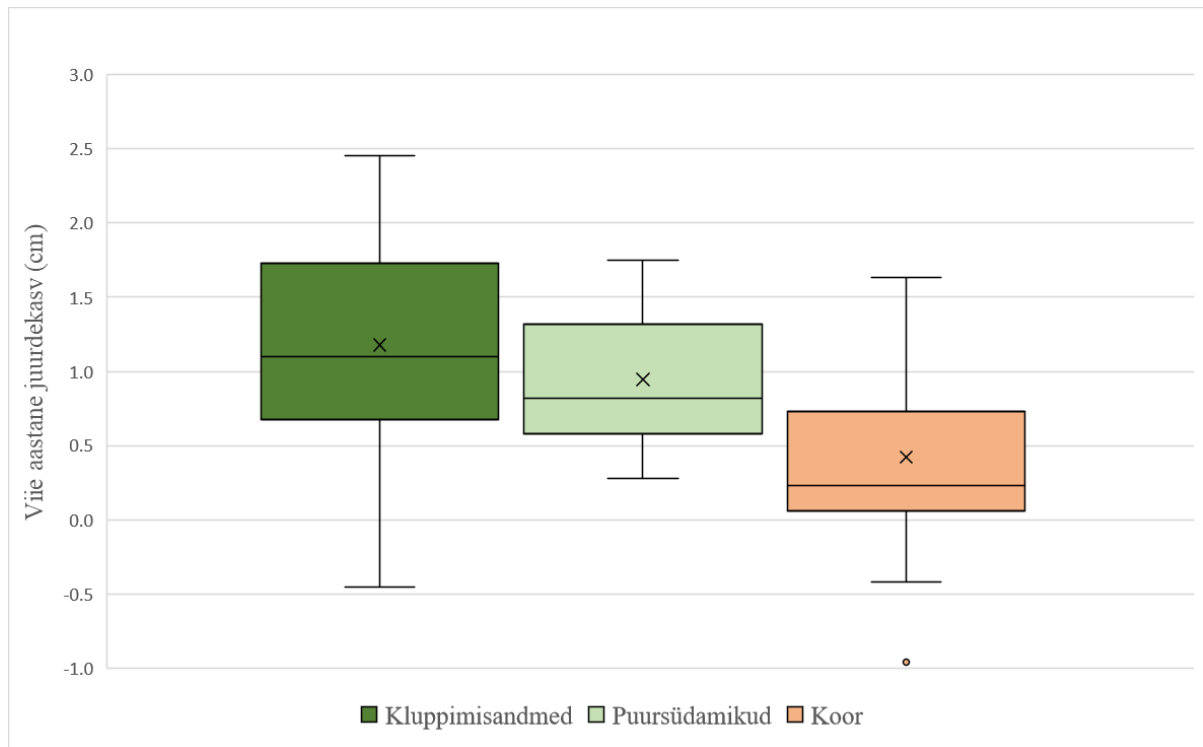
**Joonis 7.** Proovitüki 351 viie aasta diameetri juurdekasvu võrdlus perioodil 1995-2020. Punktiga märgitud erind ning X-tähega keskmised väärtused, keskmine joon näitab mediaani ning vuntsid ülemist ning alumist kvartiili.

Joonisel 8 on välja toodud proovitüki 352 diameetri juurdekasvu võrdlus kahe erineva meetodiga ning lisaks ka prognoositud koore juurdekasv. Viie aastane keskmine diameetri juurdekasv on kluppimisandmete põhjal 0,96 cm, puursüdamike põhjal 0,76 cm. Koore teoreetiline viie aastane juurdekasv on 0,28 cm. Kluppimisandmetel esineb üks erind, mille väärtus on 2,90 cm. Puursüdamikel esineb kolm erindit, mille väärtused on 2,24 cm, 1,86 cm ning 1,78 cm. Klupitud andmete põhjal oli maksimaalne diameetri juurdekasv 2,9 cm, puursüdamike andmete järgi 2,3 cm. 93% puudel esines mingil ajavahemikul negatiivset koore juurdekasvu.



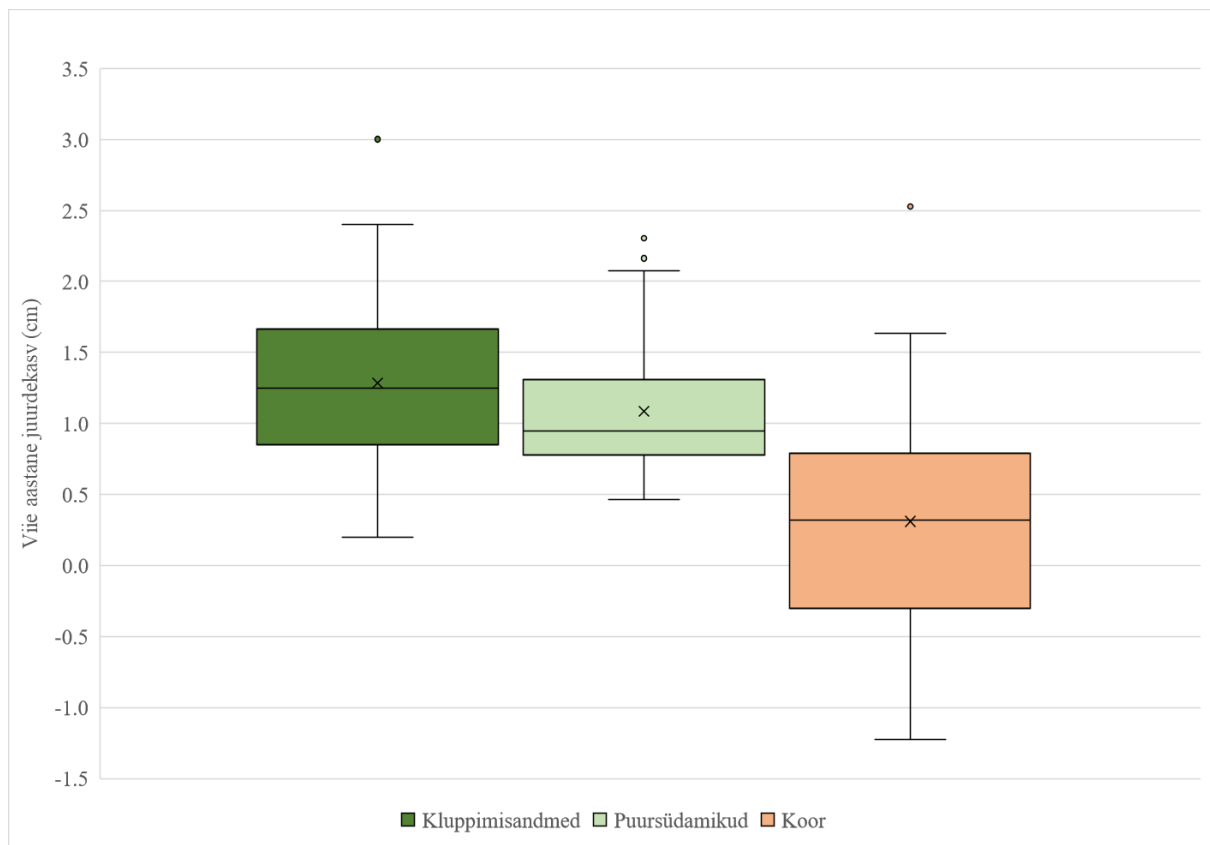
**Joonis 8.** Proovitüki 352 viie aasta diameetri juurdekasvu võrdlus perioodil 1995-2020. Punktidega märgitud erindid ning X-tähega keskmised väärtused, keskmine joon näitab mediaani ning vuntsid ülemist ning alumist kvartiili.

Joonisel 9 on välja toodud proovitüki 380 diameetri juurdekasvu võrdlus kahe erineva meetodiga ning lisaks ka prognoositud koore juurdekasv. Viie aastane keskmine diameetri juurdekasv on klappimisandmete põhjal 1,18 cm, puursüdamike põhjal 0,95 cm. Koore teoreetiline viie aastane juurdekasv on 0,42 cm. Teoreetilise koore andmetel esineb üks erind, mille väärtus on -0,96 cm. Klupitud andmete põhjal esines 10% puudest mingil ajavahemikul negatiivset juurdekasvu. Klupitud andmete põhjal oli maksimaalne diameetri juurdekasv 2,4 cm, puursüdamike andmete järgi 1,8 cm. 70% puudel esines mingil ajavahemikul negatiivset koore juurdekasvu.



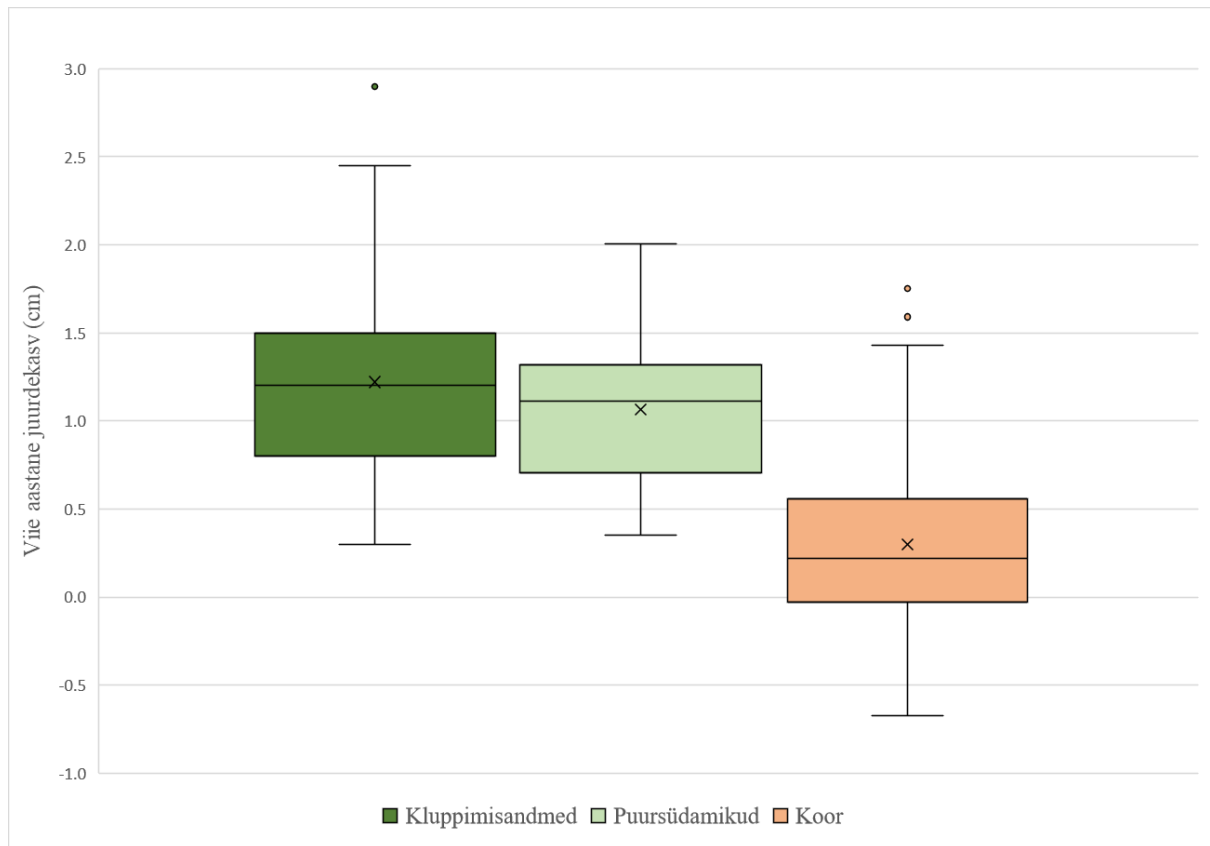
**Joonis 9.** Proovitüki 380 viie aasta diameetri juurdekasvu võrdlus perioodil 1995-2020. Punktiga märgitud erind ning X-tähega keskmised väärtused, keskmine joon näitab mediaani ning vurrud ülemist ja alumist kvartiili.

Joonisel 10 on välja toodud proovitüki 381 diameetri juurdekasvu võrdlus kahe erineva meetodiga ning lisaks ka prognoositud koore juurdekasv. Viie aastane keskmine diameetri juurdekasv on klappimisandmete põhjal 1,28 cm, puursüdamike põhjal 1,09 cm. Koore teoreetiline viie aastane juurdekasv on 0,31 cm. Klappimisandmetel esineb ka üks erind, mille väärtus on 3,0 cm. Puursüdamikel esineb kaks erindit, mille väärtused on 2,31 cm ning 2,16 cm. Teoreetilise koore andmetel esineb üks erind, mille väärtus on 2,53 cm. Klupitud andmete põhjal oli maksimaalne diameetri juurdekasv 3,0 cm, puursüdamike andmete järgi 2,3 cm. 70% puudel esines mingil ajavahemikul negatiivset koore juurdekasvu.

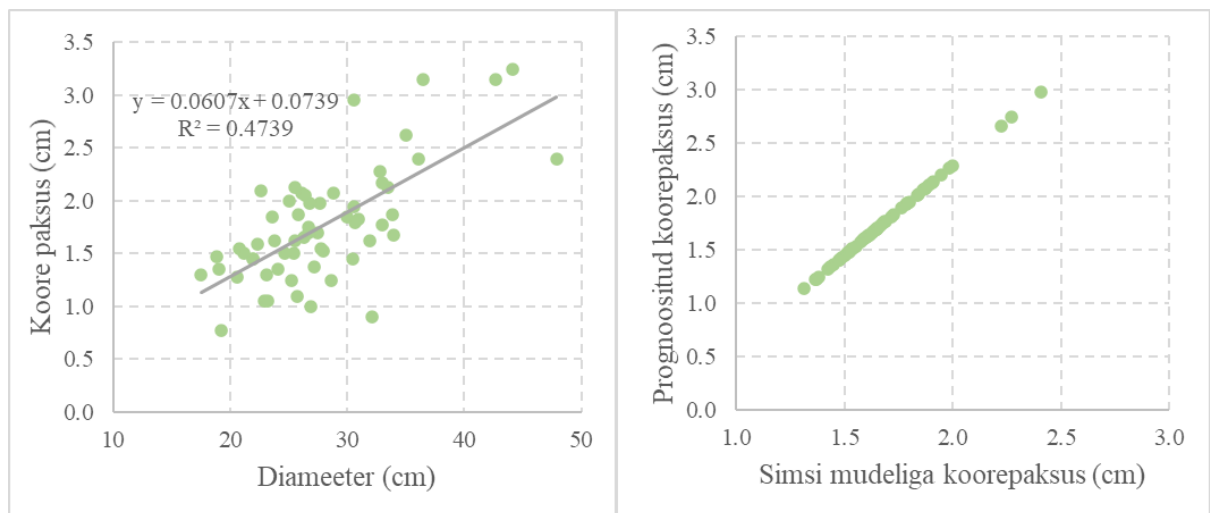


**Joonis 10.** Proovitüki 381 viie aasta diameetri juurdekasvu võrdlus perioodil 1995-2020. Punktidega märgitud erindid ning X-tähega keskmised väärtused, keskmine joon näitab mediaani ning vurrud ülemist ja alumist kvartiili.

Joonisel 11 on välja toodud proovitüki 382 diameetri juurdekasvu võrdlus kahe erineva meetodiga ning lisaks ka prognoositud koore juurdekasv. Viie aastane keskmine diameetri juurdekasv on klappimisandmete põhjal 1,22 cm, puursüdamike põhjal 1,06 cm. Koore teoreetiline viie aastane juurdekasv on 0,3 cm. Klappimisandmetel esineb ka üks erind, mille väärtus on 2,9 cm. Teoreetilise koore andmetel esineb kaks erindit, mille väärtused 1,75 cm ning 1,59 cm. Klupitud andmete põhjal oli maksimaalne diameetri juurdekasv 2,9 cm, puursüdamike andmete järgi 2,0 cm. 80% puudel esines mingil ajavahemikul negatiivset koore juurdekasvu.



**Joonis 11.** Proovitüki 382 viie aasta diameetri juurdekasvu võrdlus perioodil 1995-2020. Punktidega märgitud erindid ning X-tähedga keskmised väärtused, keskmine joon näitab mediaani ning vurrud ülemist ja alumist kvartiili.



**Joonis 12.** Vasakpoolsel joonisel koore paksuse ja diameetrite vaheline hajuvus koos lineaarse regressioonimudeliga. Paremal võrdluseks mudeliga prognoositud versus Simsi (2015) kooremudeliga leitud.

Joonisel 12 on näha, et proovitükil mõõdetud puude koore paksuse ning diameetri vaheline determinatsioonikordaja  $R^2=0,47$  näitab keskmist seost, lineaarse regressioonimudeli prognoosiviga on 0,3 cm. Teoreetilist koore paksust võrreldi Simsi (2015) mudeli järgi

arvutatud koore paksusega ning tulemused on üsna sarnased, sest dispersioonanalüüsiga (ANOVA) kontrollides statistiliselt olulist erinevust mudelitega vahel keskmise koorepaksuse järgi ei tuvastatud ( $p=0,1878$ ). Kõikide proovitükkide keskmiseks koore juurdekasvuks saadi 1,76 cm, Simsi (2015) välja pakutud parameetrite järgi saadi koore viie aastaseks juurdekasvuks 1,69 cm. Kõige suurem oli koore juurdekasv proovitükil 352, kus viie aastane keskmine juurdekasv saadi 1,9 cm ning kõige väiksem proovitükil 382, kus viie aastane koore keskmine juurdekasv saadi 1,59 cm.

### 3. ARUTELU

Hetkel väga palju kõneainet pakkuvas metsanduses on üheks suureks väljakutseks usaldusväärsete takseerandmete hankimine. Nende põhjal on võimalik kvaliteetselt ning jätkusuutlikult puistusid majandada. Käesolevas bakalaureusetöös uuriti üksikpuu diameetri juurdekasvu ning nende hindamisel kasutatavaid meetodeid ja nende erinevusi. Metsateaduses on väga tähtis mikroskoopiliselt uurida puude juurdekasvu ja diameetreid, et otsustada metsa edasise käekäigu üle (Hordo, 2012).

Eelnevalt üksikpuude kasvu uurinud Trouiller *et al.* (2020) väidavad, et lisaks proovitükkide uurimisele ja mõõtmistele on juurdekasvu hindamiseks ülioluline üksikpuude uurimine. Sama kinnitas ka Nehrbass-Ahles *et al.* (2014), et andmete kinnitamiseks tuleks proovitükkidelt koguda kõikidelt või osadelt puud puursüdamikud ning nendel aastarõngad üle lugeda.

Hariliku männi juurdekasv üksikpuudena on Eestis suhteliselt vähe uuritud teema. Käesoleva bakalaureusetöö tulemusena selgus, et uurimuses kasutatud proovitükkide puude andmed, mis on kogutud kahe erineva meetodi abil, erinevad statistiliselt oluliselt. Töö tulemusena leiti, et andmed erinevad kõige kahe meetodi vahel vähem, kui puu diameeter muutub väiksemaks. Selgus, et meetodite vahe võib olla kuni 2,18 cm viie aastase juurdekasvu puhul. Võib väita, et mida väiksemaks läheb puu diameeter, seda väiksemaks muutub ka mõõtmiste erinevus kahe erineva meetodi vahel.

Üheks kahe erineva meetodi suure juurdekasvu erinevuse põhjuseks võib tuua selle, et ühe meetodi puhul on tegemist täppisteadusega. Püsiproovitükkidel hinnatakse juurdekasvu täpsusklupiga, millega saab mõõta puu diameetrit 0,1 mm täpsusega. Puurproovidelt juurdekasvu hindamisel mikroskoobiga saab mõõta 0,01 mm täpsusega, samas mõjutavad ka mõõtja oskused, hoolsus ja kogemused aastarõngaste mõõtmise tulemusi.

Teiseks erinevuse põhjuseks võib tuua selle, et püsiproovitükkidel käiakse mõõtnas iga viie aasta tagant ning mõõtdjad alati muutuvad. Kui klupitud diameeter on väiksem, kui seda on puursüdamike põhjal arvutatud diameeter, siis võib olla põhjuseid mitu: kas klupitud on teisel

kõrgusel kui on võetud puursüdamikud, kas kluppija on teinud mõõtmisvea, kas kirjutaja on teinud mõõtmisvea või on puursüdamiku lugeja on teinud vea. Kui vaadata klupitud andmete ja puursüdamike juurdekasvude suhet, siis 66% korral mõõtmistest on puitu kasvanud vähem juurde, kui võrrelda puursüdamikelt loetud juurdekasvu kluppimisandmetega. See võib tähendada, et kas on ka koort juurde kasvanud või on mõõtjate (nii puursüdamike kui ka kluppijate) poolt tehtud mõõteviga. Ülejäänud 34% korral on puitu kasvanud rohkem kui kluppimisandmed seda näitavad. Ka see võib tähendada, et on kas kluppija või puursüdamiku lugeja poolt tehtud mõõteviga. Üks soovitus võiks olla, et kui mingil puul kluppides tuleb diameeter väiksem kui seda on eelneval korral mõõdetud, siis sellel puul võtta puurproov ning aastarõngad üle lugeda ja kindlaks teha, kus selline eripära või viga tuleb.

Samuti tuleb tulemustes arvesse võtta, et puurproovide puhul ei ole mõõdetud ära koore paksus, välja on vaid arvatatud teoreetiline koore juurdekasv. Kõikidel proovitükkidel esinesid teoreetilise koore paksuse mõned väärtused miinustega, mida võib selgitada sellega, et andmetes esineb eripärasid: kas mõne mõõtmise vahel on diameeter vähenenud, puursüdamike lugeja on teinud vea või on proov võetud erinevalt kõrguselt, kui on mõõdetud diameetrit kluppides. Eelnevalt on uurinud puu koore sõltuvust diameetrist Allan Sims, kes leidis, et hariliku männi koore paksus on tüvel kõige varieeruvam ning selle paksus suureneb ajaga kordades rohkem tüve alaosas kui ülaosas (Sims, 2015). Sellest tulenevalt võib ka tuua üheks andmete erinevuse põhjuseks koore paksuse, kuna eriti vanemas eas korbastub männi puu ning tuleb arvestada, et ka koorel on juurdekasv. Koore teoreetilist paksust võrreldi ka töö käigus Simsi mudeli koore suhtelise paksuse parameetrite hinnanguga ning saadud tulemused olid sarnased.



## 4. KOKKUVÕTE

Jätkusuutlikul metsade majandamisel on üheks tähtsamaks osaks usaldusväärsete andmete kogumine. Andmete abil on võimalik prognoosida üksikpuu diameetri juurdekasvu ning anda erinevaid hinnanguid ja nende abil koostatakse puistute kasvukäigumudeleid.

Käesolev töö annab ülevaate, kuidas erinevad andmed kahe erineva mõõtmismeetodi korral. Uurimise läbiviimiseks valiti viielt erinevalt proovitükilt välja 60 puud, millelt puurida puursüdamikud ning hinnata nende puude diameetri juurdekasvu ja võrrelda neid andmeid olemasolevate andmetega.

Andmeanalüüsi käigus t-testiga sai kinnitust hüpotees, et kahe erineva meetodi poolt saadud tulemused erinevad statistiliselt oluliselt. Minu uuritud proovitükkidel erinesid andmed kahe meetodi vahel kõige rohkem proovitükil 380, kus viieaastane diameetri juurdekasv erines 0,23 cm ning kõige vähem proovitükil 351, kus viieaastane diameetri juurdekasv erines 0,14 cm. Töö käigus tehtud analüüsid ning saadud tulemuste põhjal võib kinnitada, et andmed erinevad omavahel piisavalt suurel määral, et seda teemat edasi uurida.

Kahe meetodi abil saadud tulemuste erinevust võib seletada mitut moodi. Tihtipeale võib olla vea tekitajaks inimene ise, kas puu diameeter on mõõdetud erinevalt kõrguselt, kas puursüdamiku lugeja on teinud vea, või võib seletada erinevust sellega, et mõõtmisvahendite täpsused on erinevad. Paremate seoste loomiseks ja tulemuste saamiseks tuleks teemat põhjalikumalt uurida ning suurendada uurimuses olevate puude arvu.

Töö autor tänab enda juhendajaid ning ka kõiki teisi, kes aitasid kaasa töö valmimisele.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Grissino-Mayer, H., D.** (2000). Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-ring research*. Nr 57(2). [https://www.researchgate.net/publication/244461190\\_Evaluating\\_crossdating\\_accuracy\\_a\\_manual\\_and\\_tutorial\\_for\\_the\\_computer\\_program\\_COFECHA](https://www.researchgate.net/publication/244461190_Evaluating_crossdating_accuracy_a_manual_and_tutorial_for_the_computer_program_COFECHA)
- Hordo, M.** (2012). Puistus toimunud häiringute tuvastamine dendrokronoloogiliste meetoditega. (KIK metsanduse programmi 2011. a. projekt nr 469) - <https://www.kik.ee/sites/default/files/469.pdf>
- Kiviste, A., Hordo, M., Kangur, A., Kardakov, A., Laarmann, D., Lilleleht, A., Metslaid, S., Sims, A., Korjus, H.** (2015). Monitoring and modeling of forest ecosystems: the Estonian Network of Forest Research Plots. – *Forestry Studies, Metsanduslikud Uurimused*. Nr 62, lk 26–38.
- Keskkonnaministeerium.** (2010). Metsa hindamise metoodiline juhend. [veebileht] [https://www.envir.ee/sites/default/files/metsa\\_hindamise\\_met\\_juhend.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/metsa_hindamise_met_juhend.pdf) (19.05.2021)
- Metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku kordusmõõtmine 2015.** (2016). Tartu: Eesti Maaülikooli metsanduse- ja maaehitusinstituut. <https://www.kik.ee/sites/default/files/uuringud/lopparuanne2015.pdf> (27.02.2021)
- Metsanranta, J., Lieffers, V.** (2009). Using dendrochronology to obtain annual data for modelling stand development: a supplement to permanent sample plots. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. Nr 82(2), lk 163–173.
- Nehrbass-Ahles, C., Babst, F., Klesse, S., Nötzli, M., Bourbriaud, O., Neukom, R., Dobbertin, M., Frank, D.** (2014). The influence of sampling design on tree-ring-based quantification of forest growth. *Global Change Biology*. Lk 2867-2885.
- R Development Core Team.** (2021). The R Project for Statistical Computing. <http://www.r-project.org> (19.05.2020).
- Rinntech.** LintAb™. [veebileht] <http://www.rinntech.de/images/stories/PDF/lintab-6.pdf> (25.02.2021)
- Rinntech.** Tsap-Win™. [veebileht] <http://www.rinntech.de/index-52147.html> (25.02.2021)
- Rosa, S., Barbosa, A. C. M. C., Junk, W. J., Nunes da Cunha, C., Piedade, M. T. F., Scabin, A. B., Ceccatini, G. C. T., Schöngart, J.** (2016). Growth models based on tree-ring data for the Neotropical tree species *Calophyllum brasiliense* across different Brazilian wetlands: implications for conservation and management. *Trees*. Nr 31(2), lk 1-14.
- Sims, A** (2015). RMK teadusprojekti lõpparuanne. Eesti tingimustesse sobivate valemite leidmine kasvava metsa ja metsamaterjali mahu määramiseks. [veebileht] [https://media.voog.com/0000/0004/9218/files/Rakendusuuuringu\\_lopparuanne\\_koor.pdf](https://media.voog.com/0000/0004/9218/files/Rakendusuuuringu_lopparuanne_koor.pdf) (19.05.2021)

**Trouillier, M., van der Maaten-Theunissen, M., Scharnweber, T., Wilmking, M.** (2020). A Unifying Concept for Growth Trends of Trees and Forests – The “Potential Natural Forest”. *Frontiers in Forests and Global Change*. Nr 3, lk 1-12.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks  
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Joel Aruoja,  
(30.05.1996)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö  
Üksikpuu diameetri juurdekasvu hindamine kahe erineva meetodiga,  
mille juhendajad on Diana Laarmann ja Maris Hordo,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 27.05.2021

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)